



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

OCELI NA NÁSTROJE

TOOL STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Bíza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Michal Bíza**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Oceli na nástroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce pojednává rešeršní formou o ocelích používaných pro výrobu nástrojů. Nástroje budou rozděleny do skupin podle aplikací v technické praxi, budou popsány základní požadavky, které na tyto nástroje jsou kladeny a k nim budou přiřazeny materiály, které těmto požadavkům mohou vyhovět.

Cíle bakalářské práce:

Student ve své práci:

- rozdělí nástroje do skupin podle aplikací v technické praxi
- popíše základní požadavky, které jsou na tyto nástroje v praxi kladeny
- navrhne typy ocelí a jejich tepelné zpracování tak, aby vyhověly kladeným nárokům

Seznam doporučené literatury:

Askeland, D. R., Phulé, P. P. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Willey and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

Ptáček, L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: Cerm, 1999. ISBN 80-7204-130-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá oceli, které se používají na výrobu pracovních nástrojů. První část je zaměřena na rozdělení a charakteristiku materiálů užívaných na výrobu nástrojů. Druhá část práce se zabývá rozdělením nástrojových ocelí podle různých kritérií, výrobou nástrojových ocelí, tepelným zpracováním, strukturou a vlastnostmi ocelí používaných na nástroje. Poslední část je zaměřena na popis nástrojových ocelí, které se rozdělují podle použití v praxi.

Klíčová slova

Nástrojové oceli, výroba, rozdělení, tepelné zpracování, struktura, vlastnosti, rozdělení podle použití v praxi

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the types of steel that are used to produce working tools. There is a classification and the characterization of the most frequently used tool materials in the first part. The second part describes the classification of tool steel according to various criteria, a tool steel production, heat treatment, the structure and the properties of steel used for tools. The last part is focused on the description of the types of tool steel that are classified according to their use in practice.

Keywords

Tool steel, production, classification, heat treatment, structure, properties, classification according to use in practice

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BÍZA, M. *Oceli na nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Oceli na nástroje** vypracoval samostatně s použitím odborných pramenů a literatury v ní uvedené.

Datum

Michal Bíza

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za veškerý čas, rady, připomínky a ochotu, kterou mi v průběhu vypracování této práce dala.

Obsah

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
ÚVOD	9
1 Rozdělení nástrojových materiálů	10
1.1 Slinuté karbidy	10
1.1.1 Nepovlakované slinuté karbidy	11
1.1.2 Povlakované slinuté karbidy	12
1.1.2.1 CVD (Chemical Vapour Deposition)	13
1.1.2.2 PVD (Physical Vapour Deposition)	13
1.2 Cermety	13
1.3 Řezná keramika	13
1.4 Supertvrdé řezné materiály	14
1.4.1 Polykrystalický diamant (PKD)	14
1.4.2 Polykrystalický nitrid bóru (PKNB)	14
1.5 Nástrojové oceli	14
1.5.1 Nelegované oceli	15
1.5.2 Legované oceli	15
1.5.3 Rychlořezné oceli	15
2 Nástrojové oceli	16
2.1 Rozdělení nástrojových ocelí	16
2.2 Výroba nástrojových ocelí	17
2.3 Tepelné zpracování nástrojových ocelí	17
2.3.1 Žihání	18
2.3.2 Kalení	18
2.3.2.1 Ohřev na kalicí teplotu	18
2.3.2.2 Ochlazení	20
2.3.3 Popouštění	21
2.4 Struktura a vlastnosti nástrojových ocelí	22
2.4.1 Struktura	22
2.4.1.1 Zbytkový austenit	22
2.4.1.2 Karbidy	23
2.4.2 Vlastnosti	24
3 Nástrojové oceli dle použití v praxi	27
3.1 Oceli na řezné nástroje (strojní) – NA	27
3.1.1 Oceli na nástroje pro obrábění – NA1	27
3.1.1.1 Nelegované oceli na nástroje pro obrábění	27
3.1.1.2 Nízkolegované oceli na nástroje pro obrábění	29
3.1.1.3 Rychlořezné oceli na nástroje pro obrábění	29
3.1.1.3.1 Slinuté rychlořezné oceli	32
3.1.2 Oceli na nástroje pro řezání, krájení a sekání – NA2	33
3.2 Oceli na nástroje pro stříhání (strojní) – NB	34
3.3 Oceli na nástroje pro tváření – NC	35
3.3.1 Oceli na nástroje pro tváření zastudena – NCS	35
3.3.2 Oceli na nástroje pro tváření zatepla – NCT	37
3.4 Oceli na formy – ND	38

3.5 Oceli na nástroje pro drcení a mletí – NE	39
3.6 Oceli na ruční nástroje a nářadí – NF	40
3.7 Oceli na měřidla – NG	41
ZÁVĚR	42
Seznam použitých zdrojů	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	44

Úvod

Tato práce je věnována přehledu základních materiálů, které se v současné době využívají na výrobu nástrojů. Největší část práce se věnuje nástrojovým ocelím.

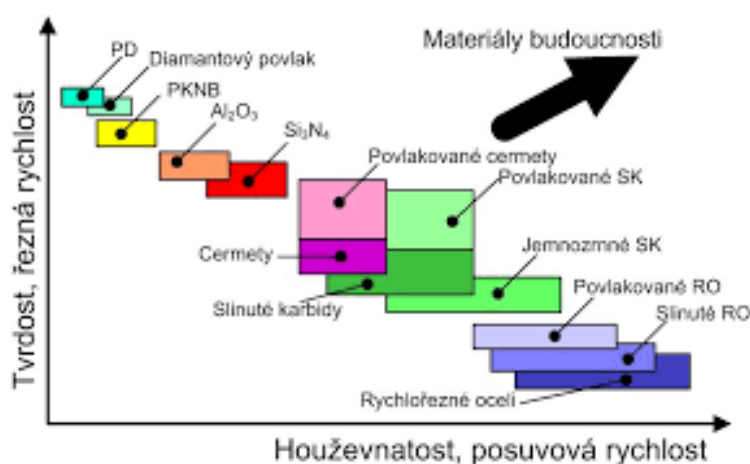
Asi nejstarším nástrojem, který využívali dávní předchůdci lidí, byl kus dřeva. Díky němu mohli lovit potravu, bránit se a také útočit. Asi 3 miliony let př.n.l. započala doba kamenná. V této době přežily kamenné nástroje mnohem lépe než nástroje z jiných (měkkých) materiálů. Tato doba vydržela zhruba do 5 tisíc let př.n.l., kdy se začaly objevovat první keramické výrobky. Další významnou dobou byla doba bronzová, která využívala cínový bronz na výrobu důležitých věcí. V odlišných částech světa začínala různě. Na Středním východě započala asi 3300 let př.n.l., ve střední Evropě je datována 2300 až 800 let př.n.l. O něco později začínala doba železná, ve které se na výrobu nástrojů využívalo železo. Počátky jsou datovány okolo 1500 let př.n.l. v Malé Asii, odtud se přes Balkán dostala až do Evropy a do střední Evropy se dostala okolo 7.-6. století př.n.l.

Od té doby se neustále zvyšuje využívání materiálů na bázi železa pro výrobu nástrojů a užitečných předmětů, strojů ulehčujících lidskou práci i nástrojů sloužících k výrobě dalších nástrojů. Materiály na bázi železa prošly výrazným vývojem a v dnešní době se na nástroje nejvíce využívají nástrojové oceli. Nástrojová ocel, nejstarší moderní nástrojový materiál, má své uplatnění i přesto, že jsou v současné době vyvinuty nové materiály s odlišnými vlastnostmi než nástrojové oceli. V některých vlastnostech, jako například vysoké houževnatosti, jsou prostě nástrojové oceli nenahraditelné.

V dnešní době je vyvinuto velké množství nástrojových materiálů, a proto je potřeba pro danou operaci vybrat ten správný nástroj.

1 Rozdělení nástrojových materiálů [1]

Pro výrobu strojních součástí se používají různé metody obrábění. Hlavní podíl na jejich celosvětové výrobě mají soustružení, frézování a vrtání. Obrobky jsou z různorodých materiálů a podle toho, z jakého jsou materiálu, se vybírá materiál nástroje, který bude obrobek opracovávat. Každý materiál pro řezné nástroje má specifické vlastnosti, kterými se vyznačuje, ty se dále dají upravovat podle tepelného zpracování. Mezi materiály na nástroje se řadí nástrojové oceli, slinuté karbidy (povlakované, nepovlakované), cermety, řezné keramiky a supertvrdé materiály. V současné době se pracuje na vylepšování již stávajících řezných materiálů, protože se v blízké budoucnosti neočekává objevení nového materiálu. Na obrázku 1.1 [1] je zachycena kombinace mechanických vlastností materiálů a pracovních podmínek pro různé skupiny nástrojových materiálů.



Obr. 1.1 Kombinace mechanických vlastností materiálů a pracovních podmínek pro různé skupiny nástrojových materiálů [1]

1.1 Slinuté karbidy [1], [2]

Slinuté karbidy (dále „SK“) jsou nástrojové materiály vytvořené z jemných částic tvrdých karbidů kovů, jako jsou W, Ti a Ta. Tyto karbidy jsou k sobě pojeny pojivem. Ve většině případů je pojivem kobalt. Základ všech SK tvoří karbid wolframu WC. Tyto materiály jsou vytvořeny z prášku slinováním (spékáním). Poměr jednotlivých karbidů a pojiva určuje vlastnosti SK. Vyrábějí se v podobě břitových destiček (obr. 1.2 [13]), které mohou být na nástroj buď pájeny nebo připevněny mechanicky. Jsou podstatně tvrdší než nástrojové oceli a oproti nástrojovým ocelím zachovávají svou tvrdost také při vyšších teplotách. Slinutými karbidy lze obrábět velké množství materiálů, od mosazí, což jsou měkké materiály, až po tvrdé bílé litiny, i žárovepné slitiny s vysokou pevností.

SK se rozděluje do dvou skupin:

- Nepovlakované
- Povlakované



Obr 1.2 Břitové destičky ze slinutého karbidu [13]

1.1.1 Nepovlakované slinuté karbidy [1]

Tvrdé látky tvořící základ současných slinutých karbidů jsou tvořeny sloučeninami uhlíku, dusíku, boru a křemíku. Nejvyšší tvrdost a pevnost v tlaku mají SK s malým obsahem Co. Tvrdost také roste se zmenšujícím se zrnem karbidů. SK mají mnohem vyšší mez kluzu než oceli a vykazují křehký lom. U těchto materiálů je velice důležité řídit celou jejich výrobu, tak aby vzniklo jednolitě těleso bez defektů. Vlastnosti nástrojů vyrobených ze slinutých karbidů jsou závislé především na složení a zrnitosti materiálu, množství a velikosti strukturních defektů, důležitou roli hraje také kvalita vstupních surovin. Množstvím pojiva (kobaltu) se ovlivňují prakticky všechny fyzikální a mechanické vlastnosti, ať už kladně či záporně. S rostoucím obsahem pojiva dochází k poklesu měrné hmotnosti, poklesu tvrdosti, vzrůstu pevnosti v ohybu a tahu, pokles pevnosti tlaku atd. Nepovlakované karbidy se dále dělí do šesti skupin – P, M, K, N, S a H, jak je zřejmé z tabulky 1.1 [12].

Tab. 1.1 Rozdělení nepovlakovaných slinutých karbidů [12]

Skupina	Podskupiny	Použití
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	Uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 Legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 Nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) Nástrojové legované oceli (193...až 198...) Uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) Nízko a středně legovaná ocelolitina skupiny 27 (4227...) Feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	Austenitické a feriticko austenitické oceli Korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli Oceli nemagnetické a ořezavzdorné
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	Šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) Tvárná litina (4223...) Temperovaná litina (4225...)
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	Neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	Speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	Zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa Kalené oceli HRC 48–60 Tvrzené kokilové litiny HSh 55-85

1.1.2 Povlakované slinuté karbidy [1]

Obecně se od řezných nástrojů, tedy i od břitových destiček, vyžaduje vysoká ořezavzdornost povrchu, při současné vysoké houževnatosti jádra. Z tohoto důvodu se velmi rozšířilo nanášení tenkých vrstev na základní materiál. Největšího posunu ve vývoji a využívání povlaků se dosáhlo zejména u slinutých karbidů. Povlakované SK se vyrábí tak, že na základní slinutý karbid typu P, M nebo K (viz tab. 1.1 [12]) se nanáší velmi tenká vrstva materiálu s vynikající odolností proti opotřebení a s vysokou tvrdostí. Nejčastějšími povlaky jsou TiC, TiN nebo Al₂O₃. Povlakování může být jedno nebo vícevrstvé. Povlaky se na materiál nanáší dvěma způsoby:

- CVD (Chemical Vapour Deposition-chemické napařování z plynné fáze)
- PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování)

1.1.2.1 CVD (Chemical Vapour Deposition) [1], [3]

CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze) je hlavní metoda sloužící k povlakování SK. Jedná se o chemickou reakci plynů. Tento proces se provádí tak, že se destičky zahřejí na teplotu mezi 1000-1200 °C, pak je k nim přiveden plyn, následuje reakce mezi destičkou a plynem a dojde k vytvoření tenké vrstvy povlaku na povrchu slinutého karbidu. Tato metoda je velmi energeticky náročná, její výhodou je homogenita povrchu a adheze mezi substrátem a povlakem. Tímto způsobem se nedají povlakovat ostré hrany.

1.1.2.2 PVD (Physical Vapour Deposition) [1], [3]

PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování) se u slinutých karbidů využívá spíše méně. Ve větší míře se používá u povlakování rychlořezných ocelí. U této metody se povlaky vytvářejí při sníženém tlaku, který se pohybuje mezi 0,1-1,0 Pa, kondenzací částic, které se ze zdrojů uvolňují fyzikálními metodami, rozprašováním, odpařováním a někdy také klasickým odporovým ohřevem. Uvolněné částice jsou ionizovány a reagují s inertním a reaktivním plynem, které tvoří atmosféru komory. Poté jsou urychlovány k povrchu a na něm vytvářejí tenké vrstvy homogenního povlaku. PVD je energeticky méně náročné než CVD, ovšem je nutné povlakovaný materiál otáčet. Lze povlakovat ostré hrany.

1.2 Cermety [1]

Název cermet je složený z prvních tří písmen slov „CERamics“ (keramika) a „METal“ (kov). Jsou to řezné materiály, které jsou podobné slinutým karbidům, ovšem místo karbidu WC obsahují tvrdé částice TiC, TiN, TiCN, Mo₂C a kovové pojivo (Ni, Mo, Co). Vyrábějí se práškovou metalurgií. Tvrdost cermetů roste se zvyšujícím se obsahem TiC. Oproti slinutým karbidům jsou zhruba stejně tvrdé, ale méně houževnaté a méně pevné. U operací, ve kterých dochází k ulpívání materiálu obrobku na břit, je vhodné použít právě cermety. Použitím při dokončovacích metodách se dosáhne vyšší životnosti a využívají se na dokončovací operace s plynulým řezem při vysokých řezných rychlostech. Maximální řezné rychlosti se pohybují okolo 360 m.min⁻¹. Používají se k obrábění ocelí, litin a téměř všech železných kovů, kromě velmi tvrdých materiálů, kalené a cementované oceli.

1.3 Řezná keramika [1]

Řezná keramika se vyznačuje vysokou tvrdostí a odolností proti plastické deformaci. Jejich tvrdost se zachovává i při teplotách blížících se k 1200°C. Další výhodou je, že chemicky nereagují s materiálem obrobku. Nevýhodami tohoto materiálu jsou zejména křehkost a malá tepelná vodivost. Řezné keramiky jsou poměrně levné a základní suroviny jsou celkem snadno dostupné. Základním materiálem je uměle vyrobený korund (Al₂O₃), který se řadí mezi nejtvrďší materiály, dalšími výchozími materiály jsou oxidy Y₂O₃, ZrO₂, karbid TiC a nitridy TiN a Si₃N₄. Řezné keramiky se dělí do dvou skupin:

- Oxidové keramiky
 - Čistá
 - Polosměsná
 - Směsná
- Nitridové keramiky

Výrobní proces řezné keramiky je podobný výrobě slinutých karbidů a cermetů, ovšem s jedním zásadním rozdílem, řezné keramiky neobsahují žádné pojivo, které slouží ke spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze. To celou výrobu keramických materiálů znesnadňuje a k výrobě je třeba výrobní zařízení, na které jsou kladeny vysoké nároky a také je třeba dbát na dodržení celého technologického postupu výroby.

1.4 Supertvrdé řezné materiály [1]

Mezi supertvrdé řezné materiály se řadí: polykrystalický nitrid bóru (PKNB) a polykrystalický diamant (PKD). Tyto materiály patří k vůbec nejtvrdším materiálům, ovšem mají velkou nevýhodu, jsou velmi drahé. Používají se pro speciální aplikace.

1.4.1 Polykrystalický diamant (PKD) [1]

Diamant je nejtvrdším známým přírodním materiálem. Syntetické polykrystalické diamanty se také blíží těmto hodnotám tvrdosti. PKD se nesmí používat k obrábění materiálů na bázi železa z důvodu nízké teplotní stálosti (nad 650 °C se mění na grafit). Na čele nástroje by docházelo k velmi rychlému opotřebení kvůli probíhajícím chemickým reakcím. Používá se při obrábění hliníkových slitin, často je také doporučován k obrábění slitin mědi, vyztužených kompozitů, titanu a jeho slitin, keramiky, grafitu a tvrdých přírodních materiálů. Lze použít řezné rychlosti okolo 5000 m.min⁻¹. Na chlazení při obrábění se nekladou žádné speciální požadavky, lze chladit běžnými procesními kapalinami.

1.4.2 Polykrystalický nitrid bóru (PKNB) [1]

Kubický nitrid bóru se používá pro obrábění (soustružení a frézování) kalených ocelí a tvrzených litin, tam nahrazuje broušení. Vzhledem k vysoké ceně je neekonomické obrábět měkčí materiály, které nedosahují minimální doporučené tvrdosti 45 HRC. Zachovává si vysokou tvrdost i při teplotách okolo 2000 °C.

1.5 Nástrojové oceli [4], [5]

Nástrojové oceli jsou nejstarší moderní nástrojový materiál. Oceli se vyrábějí v obloukových nebo indukčních pecích a následným tepelným zpracováním se z nich stanou nástrojové oceli. Nástroje se z tohoto materiálu vyrábí buď odléváním do forem s následným obrobením, nebo se odlévají do ingotů. Strukturu obvykle tvoří martenzit nebo martenzit, bainit, zbytkový austenit a karbidy. Zbytkový austenit snižuje tvrdost, ale na druhou stranu má

příznivé účinky na odolnost proti praskání nástrojů při kalení. Karbidy zvyšují tvrdost. Nástrojové oceli lze dělit na:

- Nelegované oceli
- Legované oceli
- Rychlořezné oceli

1.5.1 Nelegované oceli [4], [5]

Nevýhodou nelegovaných ocelí je jejich malá prokalitelnost. V nelegovaných nástrojových ocelích se vyskytuje 0,4 – 1,1 %C a nízký obsah Mn, který zvyšuje podíl zbytkového austenitu, což má za následek snížení tvrdosti. Používají se pro výrobu ručního nářadí.

1.5.2 Legované oceli [4], [5]

Mají vyšší tvrdost a prokalitelnost než nelegované oceli. Používají se na nástroje používané v zemědělství a také mají podobné použití jako nelegované oceli. Součet legujících prvků se obvykle pohybuje v rozmezí 3-5 %. K legování se používá Cr, W, Mo a V. Legované oceli se dále dělí na:

- Legované oceli pro práci za studena
- Legované oceli pro práci za tepla

1.5.3 Rychlořezné oceli [4], [5]

Obsah uhlíku se u rychlořezných ocelí pohybuje nad 0,7 %C. Základním legujícím prvkem je wolfram nebo molybden. Dalšími typickými legujícími prvky rychlořezných ocelí, které se v nich vyskytují ve větším množství jsou Cr, V a může se přidávat také Co. Pro vysoké výkony se legují Co do 12 %. Mají odolnost proti poklesu tvrdosti až do teplot okolo 550°C. Rychlořezné oceli se hlavně používají na nejrůznější obráběcí nástroje.

Následující text této práce se výhradně zabývá podrobným popisem nástrojových ocelí, jejich různým rozdělením a požadavky na tyto materiály.

2 Nástrojové oceli [4], [6], [7]

Nástrojové oceli (NO) jsou vysoce kvalitní oceli, které jsou svými vlastnostmi specifické oproti běžným ocelím a slouží na výrobu nástrojů. I když se postupem času uvedly na trh nové nástrojové materiály, tak se NO stále používají a jsou důležité. Od prvního uvedeného nástroje z tohoto materiálu se technologický vývoj posunul hodně dopředu a díky tomu máme v dnešní době široký sortiment NO, a tak lze pro dané opracování materiálu vybrat vhodný nástroj. Ten se volí také s ohledem na životnost, kterou ovlivňuje nejen chemické složení a mechanické vlastnosti, ale také vlastnosti opracovávaného materiálu. Díky vývoji se dá daleko lépe vyhovět požadavkům na vlastnosti materiálu. Ty se vylepšují změnou chemického složení, tepelným zpracováním a úpravou povrchu. Nástroje se vyrábí buď odléváním do ingotů a následným tvářením nebo odléváním přímo do forem, které mají tvar výsledného nástroje. Jsou určeny pro výrobu nástrojů na řezání, stříhání, formování atd.

2.1 Rozdělení nástrojových ocelí [6]

Nástroje z NO mají široký rozsah použití a každá aplikace vyžaduje jiné vlastnosti, které by měl daný nástroj mít. Protože jsou požadavky vysoké a dost často protichůdné, je volba správné oceli velice důležitá. Z tohoto důvodu se nástrojové oceli dělí podle několika kritérií, kterými jsou:

- Chemické složení
- Druh ochlazovacího prostředí při kalení
- Způsob použití v praxi

A) Podle chemického složení ČSN 42002

- Nelegované
 - Nízkouhlíkové (obsah uhlíku 0,3 – 0,6 %C)
 - Středněuhlíkové (obsah uhlíku 0,5 – 1,1 %C)
 - Vysokouhlíkové (obsah uhlíku 1,0 – 1,5 %C)
- Legované
 - Nízkolegované (obsah legujících prvků do 5 %)
 - Střednělegované (obsah legujících prvků 5–10 %)
 - Vysokolegované (obsah legujících prvků nad 10 %)
- Rychlořezné
 - Pro běžné použití
 - Výkonné
 - Vysoce výkonné

B) Podle druhu ochlazovacího prostředí při kalení

- Do vody
- Do oleje
- Na vzduchu

C) Podle použití

- NA – oceli na řezné nástroje
- NB – oceli na nástroje pro stříhání
- NC – oceli na nástroje pro tvářením

- ND – oceli na formy
- NE – oceli na nástroje pro drcení a mletí
- NF – oceli na ruční stroje a nářadí
- NG – oceli na měřidla
- NH – oceli na upínací nářadí

2.2 Výroba nástrojových ocelí [4], [6], [7]

Výroba ocelí se provádí v obloukových, indukčních nebo elektrických pecích a je nutné dodržovat přísná pravidla kvality, aby měla výsledná ocel požadovanou kvalitu. Pro výrobu oceli je výchozím materiálem surové železo, které se získává z vysoké pece redukcí oxidů železa v železné rudě. Obsah uhlíku v surovém železe se v peci snižuje na požadované množství, u běžných ocelí je to pod 1,5 %. Nástrojová ocel se získá tak, že se do surového železa přidají legující prvky, pokud chceme legovanou ocel, a poté se kalí a tepelně zpracovává, čímž se získají požadované vlastnosti. Nelegovaná ocel se vyrábí bez přidávání legujících prvků. V nelegovaných ocelích se také mohou vyskytovat legující prvky, ale jejich obsah je velmi malý a přípustné množství se nachází v tab. 2.1 [6].

Tab. 2.1 Množství legujících prvků v nelegovaných ocelích [6]

Prvek	Množství [%]	Prvek	Množství [%]
Mn	0,9	Co	0,2
V	0,1	W	0,2
Si	0,5	Al	0,1
Ni	0,5	Mo	0,1
Cr	0,3	Ti	0,1

2.3 Tepelné zpracování nástrojových ocelí [8], [9]

Tepelné zpracování NO je velmi důležitá část výroby nástroje. V této části se upravují vlastnosti ocelí v žádaném směru. Výkon nástroje nezávisí jen na vhodném výběru nástroje pro daný typ operace, ale také na technologii výroby, konstrukci, a hlavně také na vhodně zvoleném tepelném zpracování nástroje. Nejčastěji se výchozí vlastnosti získají kalením a následným popouštěním.

2.3.1 Žihání [8], [9]

Rozlišujeme několik druhů žihacích pochodů, všechny však mají společný znak, kterým je poměrně dlouhá výdrž na žihací teplotě a pozvolné ochlazování.

Prvním způsobem žihání NO je žáhání naměkko. Při tomto způsobu se materiál ohřívá na teploty těsně pod A_{c1} . Výdrž na teplotě je v rozmezí 2 až 4 hodin a poté následuje pozvolné ochlazování, aby nedošlo ke vzniku nežádoucí struktury. Takto získané oceli se vyznačují malou tvrdostí, dobrou obrobiteľností a tvařitelností za studena. Po žihání naměkko se nejedná o konečnou strukturu, následuje ještě finální tepelné zpracování.

Po obrábění nebo tváření za studena se materiál obvykle žihá na snížení vnitřního pnutí, tento způsob má snížit vnitřní pnutí vzniklé právě těmito operacemi. Žihací teploty jsou v rozmezí 600 až 650 °C a výdrž asi jednu hodinu. Často se využívá při výrobě přesných a rozměrnějších nástrojů jako mezioperační žihání po hrubování.

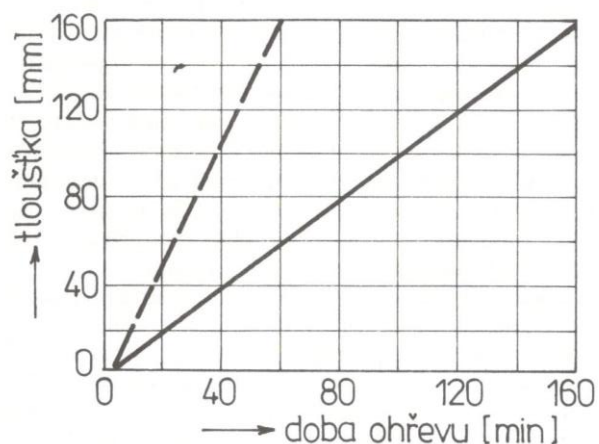
Pro získání jemnozrnné, homogenní struktury s rovnoměrným rozložením karbidů se používá normalizační žihání. Provádí se za teplot vyšších než teplota přeměny (A_{c3} , A_{c1}) a po výdrži se ochlazuje na vzduchu. Používá se po kování některých ocelí, ve kterých se vytvoří různorodá struktura.

2.3.2 Kalení [8], [9]

Kalení je společně s popouštěním nejdůležitější proces tepelného zpracování, díky nim se získávají finální vlastnosti nástrojů. Kalení spočívá v ohřevu na kalicí teplotu, teplotu austenitizace, výdrž na teplotě, která není tak dlouhá jako u žihání. Poslední fází kalení je rychlé ochlazení pod teplotu začátku vzniku martenzitu (M_s). Austenitizační teplota se volí tak, aby se rozpustilo vhodné množství karbidů. Po výdrži se volí ochlazení ve vhodném prostředí rychlostí, při které se přemění co nejvíce austenitu na martenzit.

2.3.2.1 Ohřev na kalicí teplotu [8], [9]

Součásti jsou před kalením vyráběny téměř na čisto, jediným přídavkem je přídavek na broušení. Z tohoto důvodu jsou všechny důležité parametry a okolnosti dobře promyšlené. Pokud by však došlo následkem ohřevu k zakřivení, změně rozměrů nebo jiné změně tvaru, tak by to vedlo ke zvýšení výrobních nákladů. Materiál je důležité ohřívát rovnoměrně a pozvolna. Předchází se tak vzniku deformací a trhlin. Ohřev materiálu je prováděn buď přímo na teplotu kalení nebo se kalí s předeřevem, kdy se materiál ohřeje na teplotu nižší než teplotu kalení, na této teplotě následuje výdrž, aby se materiál prohrál celý a poté se materiál ohřeje na teplotu kalení. Počet předeřevů se určuje podle velikosti a složitosti součástí. Podle chemického složení leží vhodné kalicí teploty v rozmezí 30 až 80 °C nad teplotou A_{c3} u podeutektoidních ocelí a nad A_{c1} u nadeutektoidních ocelí. Po dosažení kalicí teploty je nutná prodleva na teplotě. U ocelí, kromě rychlořezných, se čas prodlevy pohybuje mezi 15 až 30 minutami a u rychlořezných je prodleva ještě kratší. Doba ohřevu je závislá především na průřezu součástí. Je potřeba prohrát součást v celém průřezu, dále na teplotě kalení, teplotě předeřevu a na použitém zařízení. Na obr. 2.1 [8] je znázorněna závislost doby ohřevu na tloušťce nástroje. Je však nutné k tomuto číslu ještě přičíst dobu prodlevy 15 až 30 minut.



Obr. 2.1 Závislost doby ohřevu na tloušťce nástroje bez započtení prodlevy [8]

————— Komerová pec
 - - - - - solná lázeň

Uvedený diagram je platný pro předehřáté nástroje, které jsou poté vloženy do solné lázně nebo komorové pece. Přibližná doba ohřevu se dá vypočítat ze vztahu:

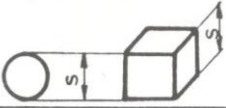
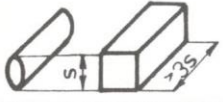


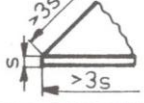
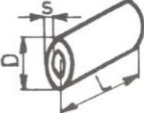
$$T = k * k_1 * S$$

Kde: T – doba ohřevu (min)
 k – koeficient závislý na způsobu ohřevu a druhu oceli
 k_1 – koeficient závislý na tvaru nástroje
 S – průměr nebo tloušťka (mm)

Koeficienty k jsou uvedeny v tab. 2.2 [8] a koeficienty k_1 na obr. 2.2 [8].

Tab. 2.2 Koeficient závislý na způsobu ohřevu a druhu oceli (k) [8]

	Ohřívací prostředí	Doba ohřevu v min. na 1 mm tloušťky stěny				
		předehřev		Dohřev	ohřev	
		první	druhý		Bez Předehřevu	S jedním předehřevem
Nelegovaná Ocel	Komerová pec	1,7	-	0,6 – 0,8	2	-
	Solná lázeň	0,33	-	0,17	0,5	-
Nízko-Legovaná ocel	Komerová pec	1,7	-	1,2 – 1,3	2,5 – 2,7	-
	Solná lázeň	0,4 – 0,5	-	0,2 – 0,3	0,6 – 0,7	-
Vysoko-Legovaná ocel	Komerová pec	1,7	0,8	0,4 – 0,5	-	2,5 – 2,7
	Solná lázeň	0,47 – 0,5	0,3	0,17	-	0,6

tvár	tvárový koeficient
	0,7
	1,0
	1,5
	1,5
	2,0
	$L < 3D - 2,0$ $L > 3D - 4,0$

Obr. 2.2 Koeficient závislý na tvaru nástroje (k_1) [8]

2.3.2.2 Ochlazení [8], [9]

Proces ochlazování nástroje se provádí po provedení ohřevu a výdrže na teplotě. Ochladuje se v různých ochlazovacích prostředích, čímž se dosáhne ochlazení nadkritickou rychlostí. Provádí se na vzduchu, ve vodě, v oleji nebo v solné lázni. Toto prostředí má každá ocel určeno a volí se na základě chemického složení, prokalitelnosti, rozměrů a průřezových charakteristik a také podle průběhu anizotermického rozpadu austenitu oceli.

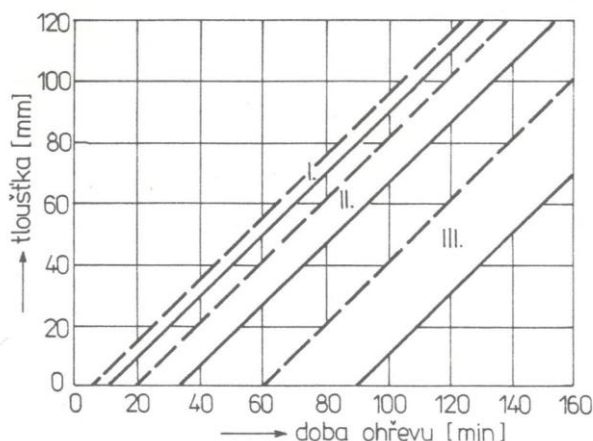
Při ochlazování vyšší rychlostí se mohou objevit deformace, případně vnitřní pnutí v materiálu nebo dokonce i trhliny. Proto je dobré kalit pouze rychlostí, která je bezpodmínečně nutná k dosažení nejvyšší tvrdosti. Vyžaduje se dokonalý styk nástroje s kalicím prostředím. Tohoto efektu se dosáhne buď otáčením nástroje nebo prouděním ochlazovacího prostředí.

Ve vodě o teplotě asi 20 až 30 °C se kalí nelegované oceli, které mají malou prokalitelnost. Do vody se může přidat asi 5-10 % NaCl. Legované oceli již mají vyšší prokalitelnost, a tak je stačí ochlazovat v oleji o teplotě asi 30 až 80 °C, dokonce se dají ochlazovat i na vzduchu. V teplé solné lázni se obvykle ochlazují oceli, které mají posunutou perlitickou nebo bainitickou přeměnu směrem k delším časům. U tohoto způsobu ochlazování se teploty pohybují zhruba kolem teploty začátku martenzitické přeměny nebo se mírně nad touto teplotou. U tvarově složitějších součástí lze využít tzv. lomené kalení „olej – vzduch“ nebo „voda – olej“. Tento způsob se provádí tak, že se nejprve ochladí v prostředí, které má daná ocel předepsané a poté se dochlazuje v prostředí o jeden stupeň slabším.

2.3.3 Popouštění [8], [9]

Po kalení následuje popouštění, ve kterém se dosáhne finálních vlastností nástroje. Popouštění následuje ihned po kalení a je nutné z toho důvodu, protože po kalení jsou nástroje křehké a mohou praskat. Požadované mechanické vlastnosti jsou důležité pro volbu popouštěcí teploty. Zastudena pracující nástroje se popouští při 150 až 300 °C a pracující za tepla při teplotě 500 až 650 °C. Rychlořezné oceli mají speciální podmínky pro popouštění.

Popouštění se děje stejně jako žíhání a kalení, kdy se nejprve nástroj ohřeje, poté následuje prodleva a posledním krokem je ochlazování. Při ohřevu se nástroje musí předehtřívát, když je jejich popouštěcí teplota vyšší než 300°C. Při nižší teplotě není nutné předehtřívání. Vyžaduje se pozvolný ohřev a prodleva na popouštěcí teplotě má být dostatečná, aby se materiál prohrál v celém průřezu. Minimálně jednu hodinu musí být výdrž nástroje, který se popouští při teplotě do 300°C. U vyšších popouštěcích teplot se vyžaduje doba výdrže asi 1 hodina na každých 20–25 mm tloušťky. Závislost doby ohřevu na tloušťce je znázorněna na obr. 2.3 [8]. Jedná se o porovnání popouštění v solné lázni, ve které je nejrychlejší přestup tepla, a popouštění ve vzduchové peci.



Obr 2.3 Závislost doby ohřevu na tloušťce [8]

- Solná lázeň
- - - - - vzduchová pec
- I. popouštěcí teploty nad 500 °C
- II. popouštěcí teploty 300 až 500 °C
- III. popouštěcí teploty do 300 °C

Může se provádět více popouštění za sebou. Například legované oceli, které jsou určeny k práci za studena a jsou kaleny na „sekundární“ tvrdost nebo které jsou určeny k práci za tepla, se popouštějí dvakrát. 3krát i vícekrát se kalí zejména rychlořezné oceli legované kobaltem. Při vyšším počtu popouštění se snižuje teplota následujícího popouštění asi o 10 °C a výdrž na teplotě je asi jedna hodina. Tímto způsobem je docíleno lepšího rozpadu austenitu a přeměny sekundárního martenzitu.

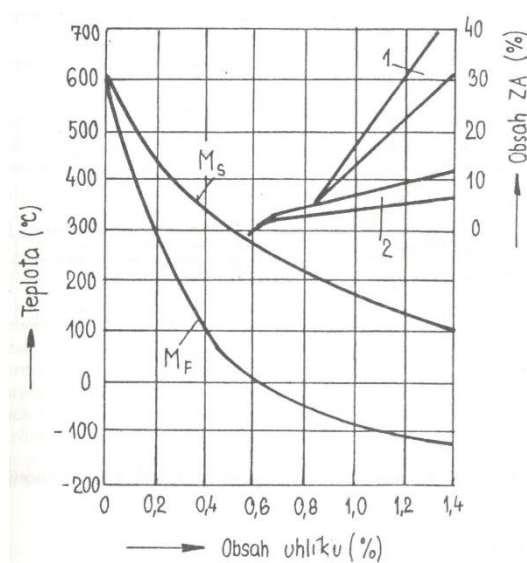
2.4 Struktura a vlastnosti nástrojových ocelí

2.4.1 Struktura [8]

NO se většinou po zakalení popouští za nízkých teplot. Popouštění za vyšších teplot se užívá pro oceli, u kterých se vyžaduje vyšší houževnatost, pro práci za tepla nebo u ocelí s výraznější sekundární tvrdostí. Po zakalení obvykle ocel obsahuje martenzit nebo směs martenzitu a bainitu. Martenzit s hrubými zrny má horší mechanické vlastnosti, proto se vyžaduje, aby měl martenzit jemné jehlice.

2.4.1.1 Zbytkový austenit [8]

U ocelí obsahujících vyšší množství uhlíku se v matici po zakalení vyskytuje netransformovaný austenit neboli zbytkový austenit. Jeho množství v matici ovlivňuje obsah uhlíku a legujících prvků rozpuštěných v austenitu. Dalším faktorem, který ovlivňuje množství zbytkového austenitu je délka výdrže na kalicí teplotě, toto se projeví především u legovaných ocelí, kde se karbidy rozpouští pomalu. Na obr. 2.4 [8] je diagram, který zachycuje vliv uhlíku na teplotu začátku (M_S) a konce (M_F) martenzitické přeměny a vliv kalicích teplot na obsah zbytkového austenitu.



Obr. 2.4 vliv uhlíku na teplotu začátku (M_S) a konce (M_F) martenzitické přeměny a vliv kalicích teplot na obsah zbytkového austenitu [8]

Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se snižují teploty začátku a konce martenzitické přeměny, což je patrné z diagramu. Při obsahu uhlíku 0,63 % a vyšším se teplota konce martenzitické přeměny nachází pod 0 °C. To je příčinou toho, že martenzitická přeměna neproběhne až do konce a v matici zůstane zbytkový austenit. Některé legující prvky se také podílí na snižování teplot M_S a M_F . Z diagramu je také patrné, že se při kalení z teplot nad A_{cm} vytvoří větší množství zbytkového austenitu než při kalení z teplot zhruba 30 až 50 °C nad A_{c1} .

Nadeutektoidní oceli se kalí z teplot nad A_{c1} , neboť zbytkový austenit snižuje tvrdost ocelí, proto je u většiny nástrojů nežádoucí.

U ocelí s obsahem 6 až 8 % zbytkového austenitu se tvrdost snižuje asi o 0,5 HRC, při 10 až 18 % o 1 až 2 HRC. Další negativní vlastností zbytkového austenitu je zhoršení obrusitelnosti nástroje. Na druhou stranu zbytkový austenit snižuje riziko praskání nástrojů. Také zvyšuje houževnatost.

U měřidel a jiných přesných nástrojů se množství zbytkového austenitu snižuje zmrazováním, které se musí provádět ihned po zakalení. Snížením teploty nástroje pod teplotu M_F se dosáhne toho, že přeměna na martenzit pokračuje dále, to vede ke zvýšení tvrdosti. Chlazení za teplot -60 až 80 °C.

2.4.1.2 Karbidy [8]

Zvyšují odolnost proti opotřebení, protože jsou tvrdší než základní matrice. Karbidy mají obvykle složení M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_6C a M_4C_3 . V tab. 2.3 [8] jsou zaznamenány průměrné tvrdosti těchto karbidů.

Tab. 2.3 Tvrdost karbidů [8]

Typ karbidů	Mikrotvrdost (HM)	Typ karbidů	Mikrotvrdost (HM)
M_3C	Asi 950	M_6C	1200 – 1300
$M_{23}C_6$	1000 – 1100	MC	2200 – 3000
M_7C_3	1600 – 1800	M_2C	1700 – 1900

Karbidy zvyšují tvrdost. V legovaných ocelích se kromě železa rozpouštějí také mangan, chrom, molybden, wolfram a vanad. V karbidech typu M_7C_3 a $M_{23}C_6$ tvoří hlavní složku obvykle chrom, rozpouštějí se při 900 až 1000 °C. U wolframových a wolframomolybdenových ocelích se vyskytují karbidy M_6C . Karbid vanadu V_4C_3 se rozpouští při vysokých teplotách a je to nejtvrdší karbid. Rozpouští se v něm také molybden, wolfram a chrom.

U tváření dochází k drcení ocelí, orientace rozdrčených částí je ve směru tváření, tvoří se karbidická řádkovitost, která má vliv na vlastnosti ocelí. Ve směru kolmém na směr tváření se také snižují mechanické vlastnosti. Karbidická řádkovitost je nežádoucí. Snížení řádkovitosti se dosáhne volbou vhodné tvářecí metody.

Souvislé nebo přerušované síťové sekundárních karbidů se také vyskytuje v matrici, vylučuje se při pomalém ochlazování. Tvoří se hlavně u nelegovaných ocelí s obsahem uhlíku větším než 1 %. Karbidické síťové je také nežádoucí jev, protože snižuje mechanické a plastické vlastnosti.

S výskytem hrubých karbidů v matrici se snižuje životnost.

2.4.2 Vlastnosti [4], [9], [10]

Základními vlastnostmi nástrojových ocelí jsou houževnatost, odolnost proti opotřebení a tepelná odolnost, které jsou vlastní nástrojovým ocelím. Další podstatnou vlastností je tvrdost, ta se upravuje pomocí tepelného zpracování. [10]

Tvrdost oceli se definuje jako odpor, který ocel klade proti vniknutí cizího tělesa. Také vyjadřuje schopnost nástroje odolávat např. opotřebení a otěru. Závisí především na obsahu uhlíku a na tepelném zpracování. Při kalení a popouštění na nízké teploty se dosahuje vysoké tvrdosti oceli. U ocelí, které pracují za vyšších teplot se popouští na vyšší teploty, přičemž nedojde ke ztrátě tvrdosti. Zakalitelnost je vlastnost, která definuje tvrdost získanou kalením, je to nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli, která je dána především tvrdostí martenzitu. Pro nelegované a nízkolegované oceli dochází ke zvyšování tvrdosti pouze do 0,8 % obsahu uhlíku, při obsahu vyšším se sice dosáhne zvyšování tvrdosti martenzitu, ovšem tvrdost oceli se mění, po překročení eutektoidní koncentrace, pouze málo. Z tohoto důvodu se oceli, které leží v nadeutektoidní oblasti, kalí nad teplotou A_{c1} . Když se kalí za vyšších teplot, tak dochází ke zvyšování obsahu zbytkového austenitu, což má za následek snížení tvrdosti, na druhou stranu je vyšší podíl zbytkového austenitu příznivý především z hlediska vnitřního pnutí vzniklého při kalení. Přísadou legujících prvků lze u legovaných ocelí zvýšit tvrdost oceli. Legující prvky tvoří s uhlíkem teplotně stabilní karbidy. Mezi tyto legující prvky se řadí Cr, V, W, Mo, Ti. [4], [9]

Plastické vlastnosti a houževnatost jsou především závislé na matici, množství, morfologii a velikosti karbidů a na případné přítomnosti vměstků, popřípadě na výrobních vadách. Oceli s pevností do 1 800 MPa jsou měkčí oceli a jejich tažnost se zjišťuje pomocí statické zkoušky v tahu a houževnatost rázovou zkouškou v ohybu. U litých ocelí je nežádoucí zejména vyloučení karbidů ve formě síťové a u tvářených ocelí je nežádoucí výrazná karbidická řádkovitost. U ocelí s pevností vyšší než 1 800 MPa se plastické vlastnosti dají posuzovat pouze podle statické zkoušky v ohybu z hodnoty pevnosti v průhybu. Houževnatost patří k důležitým vlastnostem, ale u nástrojů je dost těžko definovatelná. Houževnatost se často definuje jako práce spotřebovaná k plastickému přetvoření jak při statickém, tak hlavně dynamickém namáhání v tahu, tlaku, ohybu nebo v kroucení. Dostatečně houževnatá ocel je schopna odolat praskání, štěpení nebo lámání. Obvykle je měřena v množství energie, kterou je potřeba vynaložit na rozbití oceli. U nástrojů je požadována nejen vysoká tvrdost, ale i dostatečná houževnatost, která je závislá na dvou věcech, jak na hutní výrobě použité oceli, tak také na tepelném zpracování. Včasné odstranění zákalných pnutí včasným a dostatečným popouštěním je velmi důležité pro dosažení požadované houževnatosti. Čím menší je zrna, tím vyšší je houževnatost. Oceli, které jsou méně legované, mají vyšší houževnatost než oceli vysokolegované. [4], [9], [10]

Odolnost proti opotřebení je důležitá vlastnost, protože nástroj se pohybuje oproti obráběnému materiálu nebo jinému nástroji. Při tomto vzájemném pohybu se může nástroj opotřebit. Této vlastnosti se dosáhne přítomností karbidů v matici. Běžnými karbidotvornými prvky přítomnými v nástrojových ocelích jsou Chrom, wolfram, vanad a molybden. Je obvyklé, že se v matici nachází více karbidotvorných prvků. Nejen tvrdost a struktura oceli, ale také jakost povrchu a pracovní podmínky nástrojů jsou důležité pro odolnost proti opotřebení, které ovlivňuje funkce a životnost nástroje. Abraze a adheze jsou hlavní dvě složky, které působí při opotřebení. Při abrazi dochází k vydrolování funkčního povrchu nástroje unášením

mikroobjemů kovových částic obráběným nebo zpracovávaným materiálem. U adheze dochází k „nalepování“ částic materiálu, na povrchu se tvoří mikrosvar a odtrhávají se částice z povrchu nástroje. Rozsah vlivu obou složek závisí na pracovních podmínkách a není stejný. [9], [10]

Řezivost se vyžaduje především u řezných nástrojů. Je výrazně ovlivňována množstvím, složením a rozložením karbidů ve struktuře oceli. Dále u řezných nástrojů souvisí s mechanickými a fyzikálními vlastnostmi a je také ovlivňována metodou obrábění, geometrií nástroje, řezným prostředím a řeznými podmínkami. Lze ji charakterizovat jako vlastnost materiálu efektivně odebírat třísku obráběnému materiálu. [4], [9]

Tepelná únava se projevuje jako sít'ové trhlinek na pracovním povrchu u nástrojů, které jsou určitou dobu zatěžovány střídáním teplot. Teplotní dilatace vyvolávají vznik trhlinek, které vyvolávají tlakové pnutí na povrchu nástroje při ohřevu a tahové pnutí při ochlazování nástroje. Houževnatost a mez kluzu oceli jsou hlavní vlastnosti, na nichž závisí odolnost oceli proti tepelné únavě. Nástrojové oceli s vyšším obsahem Cr a s přísadou Mo jsou nejlépe odolné proti tepelné únavě, protože mají při vysoké pevnosti i vysokou houževnatost. Vhodné kombinace vlastností, s ohledem na namáhání nástroje, se dosáhne vhodnou volbou materiálu a tepelným zpracováním. [4], [9]

Kalitelnost a prokalitelnost se řadí mezi jedny z těch důležitějších vlastností nástrojových ocelí. Velký vliv na tvrdost oceli po zakalení má kalitelnost. Tvrdost oceli po zakalení roste s obsahem uhlíku. Vliv jednotlivých přísad a obsahu uhlíku na kalitelnost je dán jejich vlivem na teplotu počátku a konce martenzitické přeměny. Lze ji také definovat jako schopnost oceli dosáhnout kalením větší tvrdosti. Prokalitelnost je definována jako schopnost materiálu získat požadovanou tvrdost po kalení do určité hloubky. Malou prokalitelnost vykazují nelegované oceli, a proto jsou vhodné legované oceli. Téměř všechny legující prvky zvyšují prokalitelnost, zejména však Mn, Cr, Mo, Ni. U karbidotvorných prvků je pro prokalitelnost významný obsah legujícího prvku rozpuštěného v austenitu při kalicí teplotě. Prokalitelnost nezvyšuje část prvku vázaná při kalicí teplotě na karbidy. Vysokolegované zápustkové a rychlořezné oceli mají velkou prokalitelnost. U rychlořezných ocelí lze při kalení vzduchem dosáhnout velké tvrdosti zhruba do průřezu 75 mm, u zápustkových ocelí dochází k prokalení až do průřezu zhruba 300 mm. U málo prokalitelných ocelí lze těžko dosáhnout stejnoměrných hodnot tvrdosti i na větších hladkých plochách. [4], [9]

Rozměrová stálost je velice důležitou vlastností nástrojových ocelí a u některých nástrojů hraje rozhodující roli. Jsou to například tvarové nástroje na přesné obrábění a měřidla. Změny rozměrů jsou způsobeny změnou struktury, ke které dochází při změnách teploty neboli rozpadem zbytkového austenitu. [4]

Odolnost proti popouštění je důležitá zejména pro nástroje např. pro lisování za tepla, pro tlakové lití kovů, tedy nástroje pracující za tepla a také pro řezné nástroje. Při dlouhodobém ohřevu materiálu na vyšší teploty se sleduje pokles tvrdosti materiálu a podle toho se posuzuje odolnost proti popouštění. Při teplotách vyšších než 200 °C klesá tvrdost u nelegovaných ocelí.

Přidáním legujících karbidotvorných prvků jako jsou Cr, W, V, Mo, Ti a přísadou kobaltu se zvyšuje odolnost oceli proti popouštění, použití kobaltu je ovlivněno jeho cenou, neboť je to z běžných legujících prvků nejdražší prvek. [4]

3 Nástrojové oceli dle použití v praxi

Následující text bakalářské práce se zabývá podrobnějším popisem nástrojových ocelí, které jsou rozřazeny podle použití v praxi. Největší pozornost je věnována nástrojovým ocelím používaným na řezné nástroje.

3.1 Oceli na řezné nástroje (strojní) – NA [6]

Na tyto oceli jsou kladeny vysoké požadavky, které jsou často protichůdné, z čehož vyplývá, že se v těchto případech musí volit kompromis, protože dané požadavky nelze dokonale skloubit. Dané požadavky, které je potřeba brát v úvahu při volbě oceli, jsou například:

- Houževnatost nástroje
- Pevnost nástroje
- Houževnatost a pevnost obrobku
- Odolnost proti opotřebení a popouštění
- Obrobitelnost
- Tepelná vodivost
- Objemová roztažnost při vyšších teplotách
- Cena oceli
- Struktura obrobku
- Obráběcí podmínky
- Konstrukce nástroje
- Atd.

Oceli na řezné nástroje se dělí na:

- Oceli na nástroje pro obrábění NA1
- Oceli na nástroje pro řezání, krájení, sekání NA2

3.1.1 Oceli na nástroje pro obrábění – NA1 [6], [11]

Lze použít oceli nelegované, nízkolegované a rychlořezné, vše je závislé na tepelném zpracování a na požadovaných vlastnostech. U nástrojů používaných k obrábění se vyžaduje vysoká tvrdost za zvýšených teplot a také odolnost proti opotřebení. Houževnatost je v tomto případě až na druhém místě.

3.1.1.1 Nelegované oceli na nástroje pro obrábění [6]

Chemické složení

S ohledem na mechanické vlastnosti se volí vhodný obsah uhlíku, který se také volí podle odolnosti proti popouštění. Tvrdost po kalení se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku, u

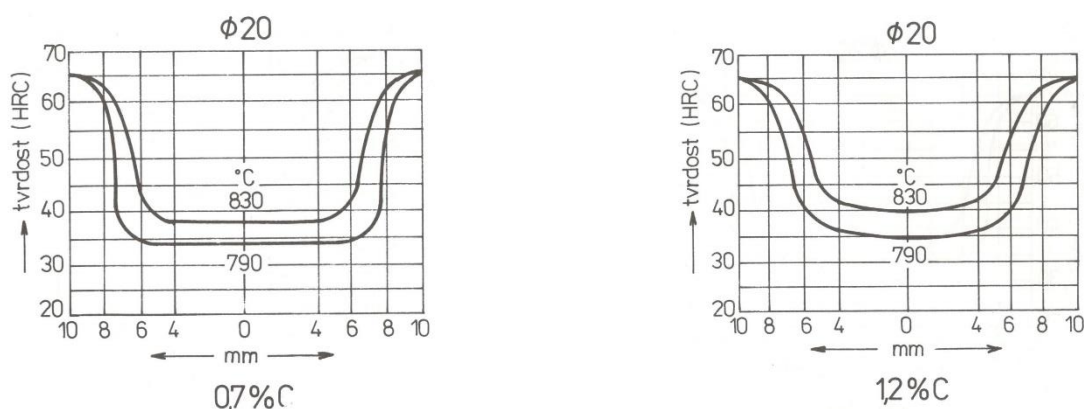
podeutektoidních ocelí, do 0,765 %. Při kalení nadeutektoidních ocelí nad teplotou přeměny A_{c1} , tvrdost se téměř nemění.

Zvyšuje-li se obsah uhlíku, roste odolnost proti opotřebení, ale dochází k poklesu houževnatosti. Vysokou řezivost mají oceli, v jejichž matici se vyloučí nadeutektoidní cementit, ten je tvrdší než martenzit. Obsah uhlíku vyšší než 1,4 % je již neúčelný. K hrubnutí zrna může docházet u ocelí s obsahem uhlíku nad 1,1 %, u těchto ocelí se také může zvýšit karbidická nestejnorodost.

V nelegovaných nástrojových ocelích se vyskytují i další prvky, jejich obsahy jsou ovšem omezeny maximálními přípustnými hodnotami. Křemík má maximální hodnoty, které se mohou v nelegovaných ocelích vyskytovat, 0,35 až 0,40 %. Maximální obsah manganu je také 0,40 %. V ocelích se také vyskytuje určité množství chromu (max 0,15 až 0,20 %), niklu a mědi (oba max. 0,20 %). Fosfor, který zhoršuje plastické vlastnosti ocelí, má maximální přípustnou hodnotu pod 0,030 až 0,020 %. Obsah síry je maximálně 0,030 až 0,035 %, síra zvyšuje obrobitelnost a snižuje tvářitelnost společně s plastickými vlastnostmi.

Tepelné zpracování

Nelegované oceli se vyznačují nízkou prokalitelností a nízkou odolností proti popouštění. Do oleje lze kalit pouze nástroje s tloušťkou do 4 mm. U tohoto způsobu má zakalený nástroj nižší tvrdost v důsledku samopopouštění, které se vyskytuje při pomalejším ochlazování. Nástroje s větší tloušťkou už se musí kalit do vody, kde však může docházet k deformacím a k praskání. Z obr. 3.1 [6] plyne, že u nástroje o tloušťce 20 mm se prokalí pouze zhruba 2 mm tloušťky nástroje. Ve větší vzdálenosti od povrchu tvrdost prudce klesá. Tvrdost ve středu vzorku se odvíjí od tloušťky a teploty kalení. Na obr. 3.1 [6] jsou dva vzorky, oba o průměru 20 mm, kalené z teplot 790 °C a 830 °C, jeden má obsah uhlíku 0,7 % a druhý 1,2 %. Je patrné, že prokalitelnost je vyšší u vzorku s vyšším obsahem uhlíku, protože jeho středová část je zakalena na vyšší tvrdost.



Obr. 3.1 Rozložení tvrdosti u válečků o průměru 20 mm s obsahem uhlíku 0,7 % a 1,2 % [6]

Při kalení do vody se kalí při 750 až 810 °C oceli s obsahem 0,70 až 0,80 % a při 740 až 790 °C oceli s obsahem vyšším. Při kalení do oleje jsou teploty vyšší o 20 až 40 °C.

Optimální kombinaci tvrdosti a pevnosti v ohybu mají nástroje, při popouštění mezi 150 až 200 °C. Obecně tvrdost s rostoucí popouštěcí teplotou klesá, ale při 150 až 200 °C je tvrdost

ještě nad 60 HRC. Pevnost v ohybu nejprve s rostoucí teplotou roste, poté se nemění od 150 po 200 °C a při vyšších teplotách klesá.

3.1.1.2 Nízkolegované oceli na nástroje pro obrábění [6]

Používají se tam, kde je použití rychlořezné oceli zbytečně drahé a neekonomické. Využití pro tyto oceli se nachází u méně tepelně namáhaných nástrojů. Jsou z nich vyrobeny soustružnické a revolverové nože, závitníky, výhrubníky a výstružníky, vrtáky apod. Přidávají se do nich prvky, které mají vliv na:

- Prokalitelnost (Chrom, Molybden)
- Velikost zrna (vanad)
- Tvrdost cementitu (chrom, molybden, wolfram)
- Odolnost proti popouštění (chrom, molybden, wolfram)
- Vznik speciálních karbidů (vanad, molybden, wolfram)
- Mechanické vlastnosti

Chemické složení

V naší normě se vyskytují oceli, které jsou legovány křemíkem, vanadem, chromem, molybdenem a wolframem. Jejich obsahy jsou omezeny maximální přípustnou hodnotou, aby splňovaly požadavky nízkolegovaných ocelí. Chrom má maximální obsah 1,80 % a obvykle nabývá hodnot mezi 0,3 a 1,8 %. Vanad tvoří v matici karbidy, které zvyšují tvrdost a odolnost proti opotřebení. Množství wolframu se pohybuje mezi 0,90 až 2,20 %. Křemík je zcela rozpuštěn, protože netvoří karbidy. Přítomností niklu dochází ke zvyšování prokalitelnosti a houževnatosti, ale také zvyšuje obsah zbytkového austenitu. Maximální množství austenitu je 0,20 až 0,35 %, protože je to nežádoucí prvek.

3.1.1.3 Rychlořezné oceli na nástroje pro obrábění [6]

Vysoké pracovní teploty, které se vyskytují u moderních obráběcích strojů, způsobují popouštění martenzitu u nízkolegovaných ocelí, a tím se snižuje řezivost a tvrdost nástroje. Rychlořezné oceli tu vlastnost, že jsou odolné proti popouštění i za vyšších teplot, a proto se používají při práci za vysokých pracovních teplot. Největší procento využití mají na řezné nástroje.

Ocel, kterou navrhl pan Mushet v roce 1868, je považována za předchůdce moderních nástrojových ocelí. Tato ocel obsahovala 2 % C, 7 % W a 2,5 % Mn. Tato ocel měla ovšem nízkou řezivost. Za další předchůdce by se dala považovat ocel, na které se podíleli R. W. Taylor a W. White. Původní složení 1,85 % C, 8 % W, 7,8 % Cr a 0,3 % Mn bylo později změněno na 0,7 % C, 19 % W, 5,5 % Cr a 0,3 V. Vhodné poměry jednotlivých přísad byly dále zkoumány a bylo učiněno několik nových objevů a zjištění, k čemu vede snížení nebo zvýšení jednotlivých legujících prvků.

S objevem slinutých karbidů to vypadalo, že rychlořezné oceli budou postupně nahrazeny. Ovšem díky zkušenostem se ukázalo, že slinuté karbidy jsou křehké a nemohou nahradit oceli, které jsou houževnatější, v celém rozsahu. Takové nahrazení je možné jen v některých případech. K tomu, že rychlořezné oceli nejsou nahrazeny slinutými karbidy přispělo také to, že se pomocí povlakování, chemického složení, tepelného zpracování a metalurgie zvýšila jakost rychlořezných ocelí.

Chemické složení

Následující text se zabývá složením rychlořezných ocelí. Jedná se o základní prvek ocelí uhlík a o hlavní legující prvky (W, Cr, Mo, V, Co) [6].

Uhlík

V rychlořezných ocelích se uhlík vykytuje v intervalu od 0,65 % do 1,50 %. Hranice jsou určeny z toho důvodu, že při nižším obsahu uhlíku než je spodní hranice intervalu se snižuje řezivost nástroje a při vyšším než je horní hranice dochází ke zvyšování obsahu zbytkového austenitu a s tím je spojeno měknutí oceli. Z následující rovnice se dá vypočítat optimální obsah uhlíku pro daný obsah legujících prvků:

$$\%C = \frac{1}{30} \cdot (1 \cdot \%W + 1,9 \cdot \%Mo + 6,3 \cdot \%V).$$

Kde: %C – obsah uhlíku [%]
 %W – obsah wolframu [%]
 %Mo – obsah molybdenu [%]
 %V – obsah vanadu [%]

Pomocí karbidů se zvyšuje tvrdost nástroje. Množství karbidů je závislé na rychlosti ochlazování, pomalým ochlazováním se zvyšuje počet karbidů. Nejvíce se jich získá žíháním naměkko.

Uhlík má největší vliv na řezivost, která se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku, na mechanické vlastnosti a na tepelné zpracování. Také je důležitý při tvorbě karbidů, kterými se zvyšuje tvrdost a také se podílí na zvýšení odolnosti proti opotřebení [6].

Wolfram

Wolfram je základním legujícím prvkem rychlořezných ocelí. Část se váže na uhlík jako karbid a část se rozpustí v matrici. Za účelem tvorby karbidů se na uhlík váže jen část wolframu, protože také vanad tvoří s uhlíkem karbidy. Wolframové karbidy mají plošně středěnou kubickou mřížku a mikrotvrdost zhruba 1300 HM. Podílí se na zvýšení sekundární tvrdosti. Díky tomu, že má wolfram malou difuzní rychlost, tak snižují rychlost rozpadu austenitu a tím se udržuje tvrdost i za vyšších teplot [6].

Chrom

Chrom se vyznačuje mikrotvrdostí asi 1100 HM. Stejně jako wolfram se část chromu podílí na tvorbě karbidů a část se rozpustí v matrici, tato část zvyšuje prokalitelnost. Obsah chromu je 3,5 až 5 % [6].

Vanad

Karbid vanadu V_4C_3 je nejčastější forma, ve které se tento prvek vyskytuje ve struktuře nástrojových ocelí, dále je část v karbidu M_6C a v matrici. Obsah vanadu závisí na obsahu uhlíku a wolframu. Zvýší-li se obsah vanadu, musí se také zvýšit obsah uhlíku, aby se nesnížila řezivost nástroje. Zvyšováním obsahu těchto prvků v matrici se zvyšuje množství karbidů a tím se zlepšuje řezivost a odolnost proti opotřebení, naopak se snižuje obrusitelnost. Základní ocel má složení 12 % wolframu, 0,8 % uhlíku a 2 % vanadu [6].

Molybden

Má podobný účinek jako wolfram, jsou jím ovlivňovány podobné vlastnosti. Z toho důvodu je určen buď k částečné nebo úplné náhradě wolframu ve složení rychlořezných ocelí. Oproti rychlořezným ocelím s obsahem wolframu mají oceli s molybdenem lepší houževnatost. Používají se na práci s přerušovanými řezy. Oceli s obsahem molybdenu lze rozdělit do tří kategorií:

- Oceli s obsahem molybdenu do 2%
- Oceli 6/5/2, které obsahují 6 % wolframu, 5 % molybdenu, 2 % vanadu
- Molybdenové rychlořezné oceli, ve kterých je převažující prvek molybden, wolfram je jen doplňující prvek [6]

Kobalt

Pouze 2 až 3 % kobaltu je v karbidech M_6C , zbytek kobaltu je rozpuštěn v základní matrici. Oceli s obsahem kobaltu se mohou kalit za vyšších teplot, tím se zvyšuje odolnost proti popouštění. Ale také dochází k tomu, že v matrici zůstane větší množství zbytkového austenitu. Proto se tyto rychlořezné oceli popouští vícekrát (3 až 5krát). Díky přítomnosti kobaltu se zvyšují pracovní teploty, což je patrné z tab. 3.1 [6].

Tab. 3.1 Vliv kobaltu na maximální pracovní teplotu [6]

Kobalt [%]	Maximální pracovní teplota [°C]
3	620
5	630
10	650
15	670

Mechanické vlastnosti rychlořezných ocelí [6]

U rychlořezných ocelí se požaduje vysoká tvrdost, vysoká odolnost proti popouštění a dostatečná pevnost v ohybu. Tvrdost se běžně pohybuje okolo 63 až 65 HRC. Někdy může dosahovat až 67 HRC.

Pevnost v ohybu je ovlivňována spoustou faktorů, především směrem tváření, velikostí karbidů, zbytkovým austenitem atd. Pevnost v ohybu ve směru kolmém na směr tváření se snižuje až o 30 %, oproti pevnosti v ohybu ve směru tváření, která je asi 3000 až 4000 MPa.

Pevnost v ohybu je také ovlivňována popouštěním, největší změny se dají pozorovat při prvním popouštění. Snižuje se při vyšších teplotách.

Rozdělení rychlořezných ocelí [6]

Rychlořezné oceli v ČSN se dělí podle výkonnosti na:

- Oceli s vysokým výkonem – obrábění materiálu s vysokou pevností, houževnatostí
- Oceli výkonné – obrábění průměrnými rychlostmi materiály s pevností asi 900 MPa
- Oceli pro běžné použití – obrábění materiálů s max. 850 MPa pevností

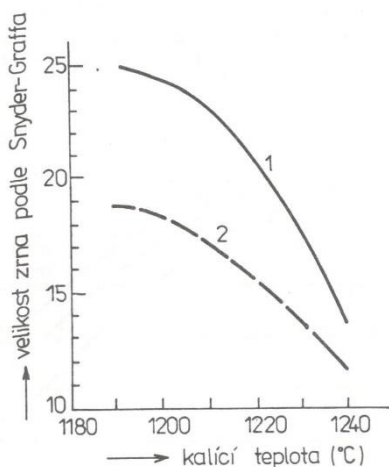
3.1.1.3.1 Slinuté rychlořezné oceli [6]

Na rychlořezné oceli se kladou stále vyšší a vyšší požadavky, kterých se již nedá dosáhnout pouhou změnou chemického složení, především zvýšením obsahu uhlíku a vanadu. Při změně chemického složení se sice některé vlastnosti zvyšují, jenže některé se zase snižují, a tak je tento způsob nevhodný. Tento problém se částečně řeší pomocí práškové metalurgie, a to výrobou slinutých rychlořezných ocelí.

Prvním krokem této metody je rozprášení taveniny rychlořezné oceli vodou nebo inertním plynem. Poté se tavenina ochlazuje. V matici se tvoří malé částice vznikající kvůli vysokým ochlazovacím rychlostem. Tyto oceli se vyznačují izotropními vlastnostmi, které se projeví po slinutí a tváření. Oproti běžným rychlořezným ocelím se rozpustí větší množství legujících prvků a uhlíku.

Nevýhodou této metody je, že se v takto vyrobených ocelích vyskytuje větší obsah kyslíku, který je hodně závislý na velikosti částic. Čím menší částic, tím více kyslíku. Obsah kyslíku se dá snížit lisováním zatepla ve vakuu. Stejně jako u běžných rychlořezných ocelí se provádí tepelné zpracování, jen je třeba dbát na to, že se rychleji rozpouštějí jemné karbidy.

Z obr. 3.2 [6] plyne, že oceli vzniklé práškovou metalurgií mají jemnější zrna po austenitizaci z teplot nižších než 1240 °C.



Obr. 3.2 Vliv kalicí teploty na velikosti zrna [6]

- 1...Slinutá ocel – 0,90 %C, 6,95 %W, 5,20 %Mo, 4,02 %Cr, 1,95 %V, 0,0170 %O₂
- 2...Tvářená ocel – 0,88 %C, 6,73 %W, 5,25 %Mo, 4,24 %Cr, 1,97 %V

Oceli vyrobené práškovou metalurgií se vyznačují lepší obrusitelností. Výrobní technologie je hlavním faktorem mechanických vlastností těchto ocelí. Pokud nejsou oceli po slinování tvářeny zatepla, tak se v matici vyskytují drobné vady. Ty se úplně odstraní právě po tváření zatepla. Rozdíl pevností v ohybu je výraznější až u vyšších průřezů. U menších průřezů je rozdíl malý, ale i tam má vyšší pevnost v ohybu ocel vyrobená práškovou metalurgií.

3.1.2 Oceli na nástroje pro řezání, krájení a sekání – NA2 [6]

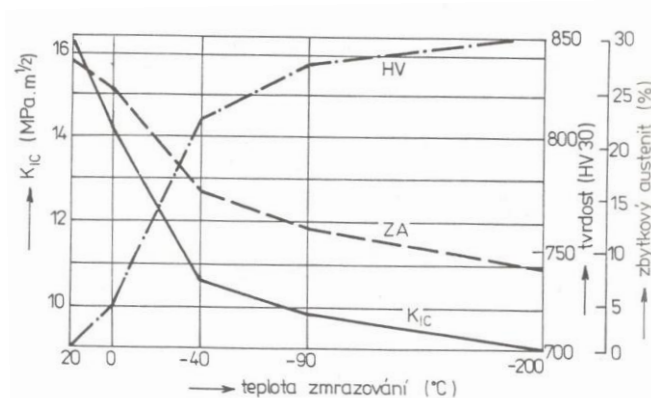
Tyto oceli jsou při práci namáhány na ohyb, tlak, střih a případně ráz. Požaduje se u nich maximální odolnost proti opotřebení a u materiálů s větší tloušťkou stěny i prokalitelnost. Ocel se volí také podle toho, jaké vlastnosti má opracováváný materiál. Mezi hlavní požadavky patří to, aby měli oceli po zakalení co možná nejmenší objemové změny, neboť následné opracování na úpravu nástroje je poměrně drahá záležitost. Lze použít oceli nelegované, nízko a středně legované a rychlořezné, viz tab. 3.2 [6].

Tab. 3.2 Doporučené nástrojové oceli na řezání, krájení a sekání [6]

Nelegované	19 096
Nízko a středně-legované	19 312, 19 313, 19,314, 19 315, 19 418, 19 419, 19 422, 19 452, 19 463, 19 559, 19 569, 19 571, 19 611, 19 615, 19 711, 19 712, 19 732, 19 733, 19 735
rychlořezné	19 800, 19 802, 19 810, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830, 19 851

Nižší tvrdostí a vyšší houževnatostí se vyznačuje jediná z doporučených nelegovaných ocelí 19 096. Nízko a střednělegované oceli jsou vybrány z ocelí legovaných manganem, chromem a také se zde vyskytují oceli komplexně legované. Nástroje, které jsou nejvíce namáhané jsou obvykle ze subledburické chromové oceli. A nástroje, které se vyznačují prací při nejvyšších výkonech, jsou z rychlořezné oceli.

Při požadavku vysoké tvrdosti jsou nástroje zmrazovány. Tento proces je prováděn po kalení. Nejvyšší nárůst tvrdosti je při zmrazení do -40°C. Následný nárůst je jen pozvolný. Při -200 °C byla zjištěna nejvyšší tvrdost. Na obr. 3.3 [6] je zobrazen vliv zmrazování na tvrdost oceli. Dále je tam také zachycena křivka zbytkového austenitu (ZA) a křivka změny lomové houževnatosti (K_{IC}). Jedná se o ocel se stejným chemickým složením jako má ocel 19 313. Ocel byla zakalena z teploty 1000 °C. Z obrázku 3.3 [6] vyplývá, že čím vyšší je tvrdost, tím se snižuje obsah zbytkového austenitu a klesá lomová houževnatost.



Obr. 3.3 Vliv teploty zmrazování na vlastnosti oceli o chem. složení 0,94 %C, 2,08%Mn, 0,10% V [6]

3.2 Oceli na nástroje pro stříhání (strojní) – NB [6], [11]

Pro stříhání se například jedná o střížné nože, řezné nástroje na výkvcích nebo vyvrtávacích strojích, ořezávací razidla atd. Podle stříhané tloušťky jsou vystaveny různě velkému namáhání. Důležitá je houževnatost a odolnost proti opotřebení. Oceli pro tento druh nástrojů se dělí podle teploty opracovávaného materiálu na nástroje pro stříhání zastudena (NBS) a nástroje pro stříhání zatepla (NBT). Pro stříhání se používají nelegované oceli, nízko, středně a vysokolegované oceli a rychlořezné oceli, viz tab. 3.3 [6].

Tab. 3.3 Doporučené nástrojové oceli pro stříhání (strojní) [6]

Zastudena – NBS

Nelegované	19 132, 19 152, 19 191, 19 221
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 421, 19 422, 19 452, 19 550, 19 559, 19 569, 19 571, 19 581, 19 663, 19 665, 19 711, 19 732, 19 733, 19 735
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 901, 19 902
rychlořezné	19 802, 19 810, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830, 19 851

Zatepla – NBT

Nelegované	19 132, 19 191
Nízko a středně-legované	19 452, 19 541, 19 550, 19 552, 19 554, 19 555, 19 564, 19 569, 19 663, 19 665, 19 711, 19 720, 19 732, 19 740
Vysokolegované	19 561, 19 721, 19 813, 19 830

Když se provádí stříhání zastudena, tak na nástroj působí tlak, ohyb, stříh, ráz a na břit také působí otěr, a proto je nutná vysoká odolnost proti opotřebení jak adhezivnímu, tak

abrazivnímu. Ačkoliv se stříhání zastudena provádí při pokojové teplotě, při stříhání plechů o větších tloušťkách se může teplota vyšplhat až nad 300 °C, pro takové podmínky se používají vysokolegované chromové oceli. Jak je materiál namáhán se odvíjí od druhu, pevnosti a tloušťce materiálu, který je stříhán. Velká houževnatost se požaduje u nástrojů, které jsou určeny ke stříhání tlustých a houževnatých materiálů a také u děrovacích trnů. Rovnoměrná a homogenní struktura je vyžadována u nástrojů, které pracují při stříhání velkých sérií.

Při stříhání zatepla jsou nástroje namáhány jak mechanicky, tak také tepelně. Funkční části nástroje jsou zpravidla vyráběny pouze z legovaných ocelí, protože se vyžaduje dostatečná odolnost proti popouštění. Na části, které nebudou během tváření v kontaktu s materiálem, který je přehříván na určitou teplotu, se mohou použít i nelegované oceli. Některé oceli používané pro tváření zatepla se používají také pro tváření zastudena.

3.3 Oceli na nástroje pro tváření – NC [6]

Tváření se rozděluje na tváření zatepla a zastudena a také nástroje používané na tyto procesy se dělí na nástroje pro tváření zastudena (NCS) a nástroje pro tváření zatepla (NCT).

3.3.1 Oceli na nástroje pro tváření zastudena – NCS [6]

Tváření zastudena se běžně provádí za pokojové teploty a při volení materiálu je nutné věnovat pozornost některým důležitým vlastnostem. Po závěrečném tepelném zpracování se vyžaduje vysoká pevnost v tlaku a ohybu. Při práci s rázem je důležitá houževnatost. Důležitá je schopnost odolávat abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení. Malé rozměrové změny. Dobrá prokalitelnost, leštitelnost a obrobitelnost nástroje jsou dalšími důležitými vlastnostmi. Pozornost by se také měla věnovat druhu mazání, počtu výrobků, přesnosti reprodukce a seřízení stroje.

Tvářením zastudena lze provádět několik různých operací, u kterých se od nástroje požadují často úplně rozdílné vlastnosti. Tyto operace se dělí na:

- Tvarovací lisování (NCS 1)
- Tažení (NCS 2)
- Ražení a kování (NCS 3)
- Protlačování (NCS 4)
- Tlačení (NCS 5)
- Válcování (NCS 6)

V následující tabulce jsou k těmto operacím přiřazeny doporučené oceli vhodné pro daný druh opracování.

Tab. 3.4 Doporučené oceli na nástroje pro tváření zastudena – NCS [6]

NCS 1 – na tvarovací lisovadla

Nelegované	19 152, 19 191, 19 221
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 420, 19 423, 19 426, 19 474, 19 550, 19 559, 19 569, 19 571, 19 581, 19 732
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 572, 19 573, 19 574

NCS 2 – na ražení a protahování

Nelegované	19 132, 19 152, 19 191, 19 221
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 356, 19 420, 19 421, 19 423, 19 426, 19 550, 19 559, 19 569, 19 571, 19 581, 19 710
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830, 19 851

NCS 3 – na ražení a lisování

Nelegované	19 132, 19 191, 19 221
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 356, 19 423, 19 474, 19 550, 19 559, 19 569, 19 571, 19 614, 19 655, 19 665, 19 732, 19 733, 19 735
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830, 19 851, 19 901, 19 902

NCS 4 – na protlačování

Nelegované	19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 356, 19 421, 19 423, 19 550, 19 569, 19 571, 19 614, 19 655, 19 732, 19 733, 19 735
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 813, 19 820, 19 824, 19 829, 19 830, 19 851

NCS 5 – na tlačení

Nelegované	19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 356, 19 421, 19 550, 19 569, 19 571, 19 614, 19 732, 19 733, 19 735
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 813, 19 820, 19 824, 19 829, 19 830, 19 851

Nelegované	19 065
Nízko a středně-legované	19 423, 19 426, 19 569, 19 571, 19 581
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 581, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830

3.3.2 Oceli na nástroje pro tváření zatepla – NCT [6]

Tváření zatepla se provádí při teplotách vyšších, než je pokojová teplota. Obvykle jsou to teploty vyšší než 200 °C, při kterých nástroj pracuje trvale. Pracovní plochy mají však ještě vyšší teploty, neboť jsou v kontaktu s materiálem, který je předeřtý na vyšší teploty. Po dokončení tváření má polotovar konečný tvar.

Zvolení vhodné oceli pro tváření zatepla je velmi důležité, a proto je potřeba brát ohled na některé důležité vlastnosti. Od ocelí se požaduje vhodná pevnost v tahu a mez kluzu za vyšších teplot. Ty jsou závislé na chemickém složení, pracovní teplotě a tepelném zpracování. Není vyžadována extrémně velká tvrdost, protože čím vyšší tvrdost, tím nižší odolnost proti tepelné únavě a může docházet k praskání. Obvykle se požaduje co nejmenší změna rozměrů při vyšších teplotách. Důležitou vlastností je také teplotní stálost neboli odolnost proti popouštění za zvýšených teplot. Dále je také potřeba brát v úvahu odolnost proti tepelné únavě a opotřebení za běžných i vyšších teplot. Důležitá je také prokalitelnost, druh maziva, teplota tváření, velikost a složitost výkovku, doba styku nástroje a materiálu, okuje na polotovaru, teplota nástroje, druh stroje a technologie výroby nástroje.

Následující tabulky jsou zaměřeny na rozdělení tvářecích procesů zatepla a doporučení vhodných ocelí pro dané tvářecí operace zatepla.

Tab. 3.5 Doporučené oceli na nástroje pro tváření zatepla [6]

NCT 1 – oceli na kovádkla

Nelegované	19 132, 19 152
Nízko a středně-legované	19 662, 19 732
Vysokolegované	19 438, 19 572

NCT 2 – oceli na kovátko pro rotační kování

Nelegované	19 191
Nízko a středně-legované	19 541, 19 564, 19 720
Vysokolegované	19 561, 19 571, 19 572, 19 829, 19 830, 19 850

NCT 3 – oceli na válce

Nízkolegované	19 732
---------------	--------

NCT 4 – oceli na zápustky a kovací trny

Nelegované	19 103, 19 132, 19 152
Nízko a středně-legované	19 520, 19 541, 19 550, 19 552, 19 554, 19 555, 19 556, 19 561, 19 564, 19 642, 19 655, 19 662, 19 663, 19 665, 19 720, 19 732, 19 740
Vysokolegované	19 561, 19 721, 19 723

NCT 5 – oceli na protahovací trny

Nízkolegované	19 550, 19 613, 19 646, 19 674, 19 675, 19 678
---------------	--

NCT 6 – oceli na protlačovadla

Nízko a středně-legované	19 520, 19 541, 19 550, 19 552, 19 554, 19 555, 19 556 19 564, 19 662, 19 663, 19 665, 19 720, 19 740
Vysokolegované	19 561, 19 680, 19 721, 19 723

3.4 Oceli na formy – ND [6]

Formy se obvykle používají na tlakové lití nebo lisování. Těmito způsoby je možná zpracovat kovy s nízkou teplotou tání a jejich slitiny, plastické hmoty, prášky, pryž, sklo, porcelán atd. Vyrobit formu je velmi pracné, proto je materiál na formu levnější než potřebná lidská práce na výrobu formy. Na funkční části se používají nízko až vysokolegované oceli. Čím vyšší cena materiálu, tím vyšší životnost formy. Tab. 3.6 [6] je zaměřena na doporučené oceli vhodné pro dané lití. Oceli na formy jsou rozděleny do pěti skupin.

Tab. 3.6 Doporučené nástrojové oceli na formy – ND [6]

ND 1 – na formy pro tlakové lití

Nelegované	19 083, 19 133, 19 191
Nízko a středně-legované	19 541, 19 552, 19 554, 19 555, 19 662, 19 720, 19 740
Vysokolegované	19 434, 19 721, 19 723, 19 901, 19 902

ND 2 – na formy pro lisování kovových a nekovových prášků

Nelegované	19 083, 19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 550
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 581

ND 3 – na formy pro tváření plastických hmot

Nelegované	19 083, 19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 452, 19 474, 19 486, 19 487, 19 550, 19 571, 19 581, 19 614, 19 662, 19 663, 19 665, 19 732
Vysokolegované	19 435, 19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574

ND 4 – na formy pro tváření pryže

Nelegované	19 083, 19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 550
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 573, 19 574

ND 5 – na formy na sklo, porcelán a keramický materiál

Nelegované	19 083, 19 191
Nízko a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 452, 19 552, 19 554
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 581, 19 901, 19 902

Od ocelí na formy se požadují dobré mechanické a plastické vlastnosti za běžných i zvýšených teplot, odolnost proti popouštění a korozi, dostatečná prokalitelnost, obrobitelnost a nízké pnutí, malá změna rozměrů za zvýšených teplot a objemová stálost.

3.5 Oceli na nástroje pro drcení a mletí – NE [6]

Od ocelí na nástroje pro drcení a mletí se požaduje dobrá odolnost proti opotřebení, především abrazivnímu. Pevnost v tlaku je také nezbytná vlastnost pro oceli s tímto použitím. Požaduje se vyšší houževnatost, ale lze také použít nelegované oceli pro nástroje s malou tloušťkou stěny, které nemají vysoké nároky na houževnatost. Dále se požaduje také dostatečná prokalitelnost. V tab. 3.7 [6] jsou doporučeny oceli na nástroje pro drcení a mletí.

Tab. 3.7 Doporučené oceli na nástroje pro drcení a mletí – NE [6]

Nízko a středně- legované	19 452, 19 550, 19 569, 19 581, 19 614
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574

3.6 Oceli na ruční nástroje a nářadí – NF [6]

V této skupině jsou oceli vhodné na výrobu ručních nástrojů a nářadí. Na tyto nástroje jsou kladeny nižší nároky než na nástroje používané pro strojní opracování. Také pracovní podmínky nejsou definovány s vysokou přesností. Důležitá je vysoká odolnost proti opotřebení, dostatečná houževnatost a řezivost. Dostatečná prokalitelnost se požaduje u nástrojů, které mají vyšší tloušťku stěny. Také se požadují malé rozměrové změny po zahřátí, protože následné broušení je drahé. Je vhodná i dobrá odolnost proti korozi. V tab. 3.8 [6] je rozdělení ocelí na nástroje pro ruční nástroje a nářadí, také jsou tam uvedeny doporučené oceli pro dané operace.

Tab. 3.8 Doporučené oceli na ruční nástroje a nářadí – NF [6]

NF 1 – pro obrábění

Nelegované	19 065, 19 083, 19 103, 19 125, 19 132, 19 133, 19 191, 19 221, 19 255
Nízkoalegované	19 312, 19 314, 19 315, 19 340, 19 420, 19 421, 19 422, 19 501, 19 550, 19 710, 19 732

NF 2 – pro řezání, krájení a sekání

Nelegované	19 083, 19 103, 19 125, 19 132, 19 133, 19 191, 19 221, 19 241
Nízkoalegované	19 418, 19 420, 19 452, 19 732, 19 733, 19 735

NF 3 – pro ostříhání

Nelegované	19 133, 19 152, 19 191
Nízkoalegované	19 420

NF 4 – pro tváření

Nelegované	19 083, 19 132, 19 133, 19 152, 19 191
Nízkoalegované	19 732

NF 5 – na montážní nářadí

Nelegované	19 083, 19 132, 19 133
Nízkolegované	19 452

NF 6 – na jehly

Nelegované	19 221
Nízkolegované	19 710

NF 7 – pro různé ruční nástroje a nářadí

Nelegované	19 083, 19 133, 19 191, 19 216, 19 221
Nízkolegované	19 340, 19 501

3.7 Oceli na měřidla – NG [6]

Oceli na měřidla nemusí být pouze nástrojové, lze použít i oceli z nižších tříd. Pro výběr oceli na měřidla je důležité brát zřetel na stupeň přesnosti měření, na dlouhodobou rozměrovou stálost za běžných i vyšších teplot. Vlastnosti měřeného materiálu jsou také důležité, protože ovlivňují životnost měřidla. Prokalitelnost, měřicí prostředí a rozměrové změny po tepelném zpracování jsou také důležité vlastnosti, které je potřeba zohledňovat při volbě oceli na měřidla. Používají se nelegované, nízko a vysokolegované oceli. Oceli bez legujících prvků se používají na měřidla s menší tloušťkou stěny. Nízkolegované se používají na oceli s větší tloušťkou stěny a vysokolegované oceli mají uplatnění pro měřidla, která mají mít vyšší odolnost proti korozi, například posuvná měřidla. V tab. 3.9 [6] Jsou doporučené oceli na měřidla.

Tab. 3.9 Doporučené oceli na měřidla – NG [6]

Nelegované	19 191, 19 221, 12 010, 12 090
Nízkolegované	19 312, 19 313, 19 314, 19 315, 19 422, 19 486, 14 100, 14 109, 14 160, 14 220
Vysokolegované	17 029, 19 435

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá nástrojovými oceli.

Nástrojová ocel je materiál určený k výrobě nástrojů. Tento materiál se vyrábí tak, že se ze surového železa vyrobí běžná ocel a následně se úpravou složení a tepelným zpracováním vyrobí ocel nástrojová, ke které mohou být přidány legující prvky dle požadavků.

Nástrojové oceli je v dnešní době možno vyrábět také práškovou metalurgií, touto výrobou se zlepšují některé vlastnosti, a tak se rozšiřuje uplatnění nástrojových ocelí. Nástrojové oceli se mohou i povlakovat. Povlakování také zlepšuje některé vlastnosti, například tvrdost, což opět rozšiřuje škálu uplatnění tohoto materiálu.

Při volbě vhodné nástrojové oceli je nutné brát v úvahu spoustu aspektů, ať už to jsou řezné podmínky, vlastnosti obráběného materiálu, vlastnosti nástroje a také stroj, který k dané operaci používáme. Důležité vlastnosti nástroje, které jsou od něj požadovány, jsou popsány v téhle práci.

V dnešní době jsou již vyvinuty nové nástrojové materiály, které mají pro řadu aplikací lepší vlastnosti než nástrojová ocel. Dalším důvodem, proč se již tak nevyužívají je fakt, že současným trendem je používání břitových destiček, které jsou na tělo nástroje buď přilepeny, připájeny nebo nejčastěji připevněny šroubovým spojem, jež je rozebíratelný. I přesto se však v nabídkách různých firem nachází i nástroje z nástrojových ocelí. A to z důvodu jejich specifických vlastností, jako je například houževnatost. Jedná se o nejhouževnatější nástrojový materiál, a proto pokud je potřeba velmi houževnatý materiál, nedokáže nástrojovou ocel zastoupit ani slinutý karbid, který je druhý nejhouževnatější.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. : il. (převážně barev.) ; 26 cm. ISBN 9788025422502.
- [2] Slinuté karbidy. *TumliKOVO* [online]. 2010 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/nastrojovematerialy/slinate-karbidy/>
- [3] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Praha: Scientia, 1997, 1 sv. (různé stránkování) : il. ISBN 9197229946.
- [4] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. : il. ; 25 cm. ISBN 8072042483.
- [5] ALLEGHENY LUDLUM STEEL CORPORATION. *Tool steel handbook*. The Corporation, 1951.
- [6] FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. 1. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
- [7] What is Tool Steel. *Simply Tool Steel* [online]. 2009 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.simplytoolsteel.com/what-is-tool-steel.html>
- [8] PLUHAŘ, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Bratislava: Alfa, 1989.
- [9] MORÁVEK, Otakar a Vladislav BABOROVSKÝ. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*. 1. Praha: SNTL, 1972.
- [10] Properties of Tool Steels. *Simply Tool Steel* [online]. simplytoolsteel.com, 2009 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.simplytoolsteel.com/properties-of-tool-steel.html>
- [11] ROBERTS, G. A. a James Presley GILL. *Tool steels*. American Society for Metals; export sales distributor: Reinhold, 1962, (780), 780 p. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/2027/uc1.b4418480>
- [12] PRAMET TOOLS s.r.o. Šumperk. Soustružení 2008. 340s.
- [13] AUTOR NEUVEDEN. Nástrojové materiály. In: *ELUC* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/8273/UC1-1480-slinute-karbidy-vymenne-britove-desticky.jpg>

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	jednotka	popis
A_{c1}	[°C]	Teplota překrystalizace
A_{c3}	[°C]	Teplota překrystalizace u podeutektoidních ocelí
A_{cm}	[°C]	Teplota překrystalizace u nadeutektoidních ocelí
CVD		Chemical Vapour Deposition
HRC		Tvrдость podle Rockwella
HM		Tvrдость podle Martense
k		Koeficient závislý na způsobu ohřevu a druhu oceli
k_1		Koeficient závislý na tvaru nástroje
K_{IC}		Změna lomové houževnatosti
M_F		Konec martenzitické přeměny (Martensit finish)
M_S		Začátek martenzitické přeměny (Martensit start)
NA		Oceli na řezné nástroje (strojní)
NA1		Oceli na nástroje pro obrábění
NA2		Oceli na nástroje pro řezání, krájení a sekání
NB		Oceli na nástroje pro stříhání (strojní)
NBS		Oceli na nástroje pro stříhání zastudena
NBT		Oceli na nástroje pro stříhání zatepla
NC		Oceli na nástroje pro tváření
NCS		Oceli na nástroje pro tváření zastudena
NCS 1		Oceli na nástroje pro tvarovací lisování
NCS 2		Oceli na nástroje pro tažení
NCS 3		Oceli na nástroje pro ražení a kování
NCS 4		Oceli na nástroje pro protlačování
NCS 5		Oceli na nástroje pro tlačení
NCS 6		Oceli na nástroje pro válcování
NCT		Oceli na nástroje pro tváření zatepla
NCT 1		Oceli na nástroje pro kovádku
NCT 2		Oceli na nástroje na kovátko pro rotační kování
NCT 3		Oceli na nástroje pro válcování
NCT 4		Oceli na nástroje pro zápusťkové kování a kovací trny
NCT 5		Oceli na nástroje pro protahování
NCT 6		Oceli na nástroje pro protlačování

ND		Oceli na formy
ND 1		Oceli na formy pro tlakové lití
ND 2		Oceli na formy pro lisování kovových a nekovových prášků
ND 3		Oceli na formy pro tváření plastických hmot
ND 4		Oceli na formy pro tváření pryže
ND 5		Oceli na formy na sklo, porcelán a keramický materiál
NE		Oceli na nástroje pro drcení a mletí
NF		Oceli na ruční nástroje a nářadí
NF 1		Oceli na nástroje pro obrábění
NF 2		Oceli na nástroje pro řezání, krájení a sekání
NF 3		Oceli na nástroje pro stříhání
NF 4		Oceli na nástroje pro tváření
NF 5		Oceli na montážní nářadí
NF 6		Oceli na jehly
NF 7		Oceli na nástroje pro různé ruční nástroje a nářadí
NG		Oceli na měřidla
NH		Oceli na upínací nářadí
NO		Nástrojová ocel
PKD		Polykrystalický diamant
PKNB		Polykrystalický nitrid bóru
PVD		Physical Vapour Deposition
<i>S</i>	[mm]	Průměr nebo tloušťka
SK		Slinutý karbid
<i>T</i>	[min]	Doba ohřevu
ZA		Zbytkový austenit